

水工学シリーズ 05-A-1

近年の内外豪雨災害に見られる特徴と課題

東北大学大学院 工学研究科土木工学専攻 教授

田中 仁

土木学会

水工学委員会・海岸工学委員会

2005 年 8 月

近年発生した内外豪雨災害に見られる特徴と課題

Characteristics and Problems Observed in the Recent Flood Disasters Occurred in Japan and Foreign Countries

田中 仁
Hitoshi TANAKA

1. はじめに

近年、我が国のみならず世界の各地で大規模な豪雨災害が発生しており、これまでの防災計画の見直しを迫られている事例すら存在している。このような災害経験を今後の防災に資することを目的として、土木学会水工学委員会（旧水理委員会）では、発災直後に調査団を組織して現地調査を実施し、これまでに調査結果・調査資料を蓄積してきた。この様な背景を受け、2004年12月から2005年2月にかけて「国内外4豪雨災害に関するフォーラム」を日本各地の6都市において開催した¹⁾。対象とした豪雨災害は下記の4つである。

- ・2002年ヨーロッパ水害
- ・2003年5月スリランカ豪雨災害
- ・2003年8月北海道胆振・日高地方豪雨災害
- ・2004年7月北陸豪雨災害

これらは内外の相違のみならず、豪雨強度、被災形態、またそれが発生した国の社会的背景に応じて、災害の発現にそれぞれ大きな特徴を有している。そこで、ここでは上記フォーラムで取り上げたこれら4つの内外豪雨災害を対象とし、そこに見られる特徴・課題について概説する。

2. 2002年ヨーロッパ水害^{2), 3)}

2.1 豪雨・流出特性

2002年8月から9月にかけて、ドイツ、チェコ、オーストリア、フランスなどのヨーロッパ各地で大規模な洪水災害が発生した（図-1）。これは、ヨーロッパ中心に停滞した低気圧（図-2 参照）によりもた



図-1 エルベ川流域での被災家族²⁾

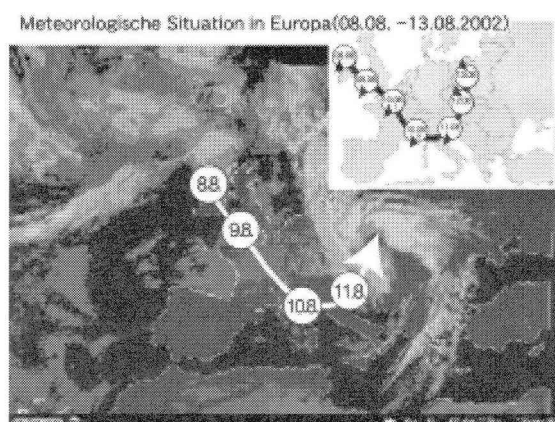


図-2 低気圧の中心位置²⁾

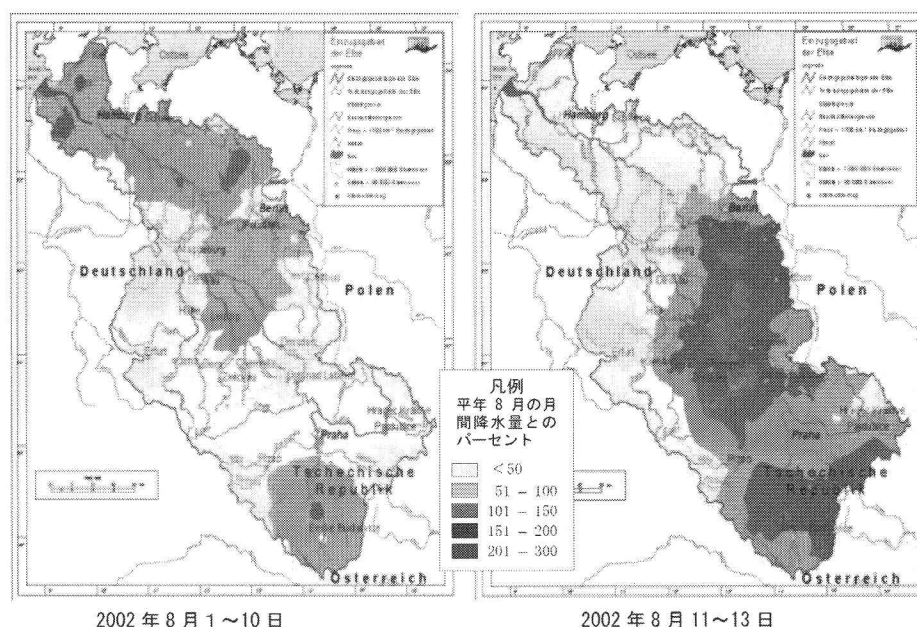


図-3 エルベ川流域降雨量²⁾

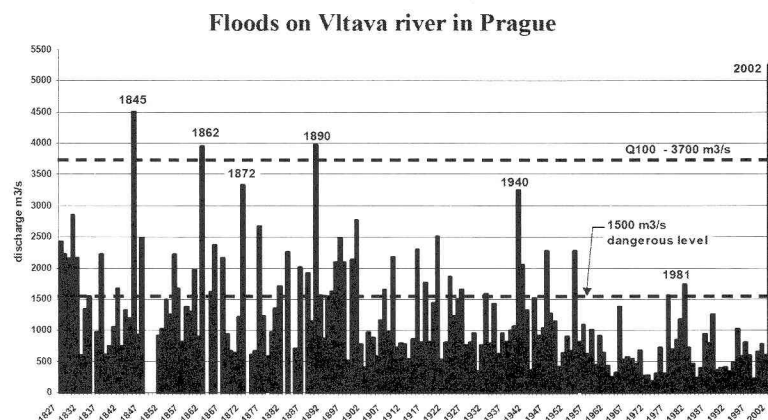


図-4 ブルタバ川・プラハにおける年最大流量²⁾



図-5 モバイル・レビー²⁾

らされた豪雨によるものである。特にチェコ・ブルタバ川においては1828年以来の最大流量 $5,300\text{m}^3/\text{s}$ を記録し、500年確率の規模と推定されている(図-4)。

2.2 被災の特徴と課題

ヨーロッパ各地では従来より氾濫区域における土地利用規制を行っている。特にドイツでは今回の災害を契機に、これを強化する動きにある。

チェコのプラハを流れるブルタバ川はモルダウ川とも呼ばれ、スメタナの交響詩の題材としても名高い。歴史的な遺産の残る町中心地は世界遺産にも指定されていることもあり、その景観上の理由、そして予算上の制約から、安全度は1/20程度である。旧市街地などの重要な箇所については、可搬式の特設堤防(モバイル・レビー)が使用され、それが機能を発揮した(図-5)。

また、洪水の発生当初、ダムが決壊したとの報道があったが、これはダムの定義が異なり、堤防等の呼称であったことが判明している。我が国で言うダムに関しては、洪水調節の機能を果たしていたことが確認されている。

3. 2003 年 5 月スリランカ豪雨災害^{4), 5)}

2003 年 5 月にスリランカ南西部を襲った降雨は大規模な水害・土砂災害を引き起こし、約 300 人の死者と約 12 万人の被災者を出す大惨事となった。

3.2 調査対象と 2003 年 5 月水害時の降雨概要

3.2.1 調査対象

水害調査の対象は、被害の大きかったスリランカ南西部に位置するカル川、ギン川、ニルワラ川の各流域とした。これらの流域の位置を図-6(a)に示す。これらの流域において現地調査を行うと共に、中央政府、地方行政機関、メディア、大学等においてインタビュー調査を行い、降雨およびこれにより引き起こされた災害に関する資料を収集した。

スリランカの地形は、標高によって中央高地、平原地帯および海岸地帯に分けられる。中央高地は、国土の中南部に位置する。平原地帯は海拔 30~200m に位置しており、国土の大部分を占める。スリランカの河川は、中央高地に源を発して、海に向かって放射状に流下している。中央高地では、河道はしばしば不連続な地形によって分断され、断崖や急斜面では数多くの滝や急流が形成されている。これらの河川は、平原地帯に出ると流速が落ちて、氾濫原やデルタを蛇行して流れる。

3.2.2 2003 年 5 月水害時の降雨概要

2003 年 5 月にスリランカ南西部を襲った洪水および土砂による災害時の降雨特性として、①5 月には珍しいサイクロンの停滞、②サイクロンの停滞による継続降雨、③土壌水分飽和後の集中豪雨、の三点が挙げられる。

北緯 6 度から 10 度の間という低緯度に位置するスリランカでは、ここ百年の間でもサイクロンの上陸は 20 回を下回り、その到来時期も 11 月~12 月にほぼ集中している。今回のサイクロンは 2003 年 5 月 11 日から 5 月 19 日にかけてゆっくりとした速度でベンガル湾を北上し、モンスーンを刺激して、スリランカ南西部に大雨を降らせた。図-6(b)は災害発生（5 月 16 日~18 日）の前、5 月 6 日~13 日の 1 週間のスリランカ全国の降水量分布である。スリランカ南西部においては、100mm を越える 1 週間雨量を観測している。

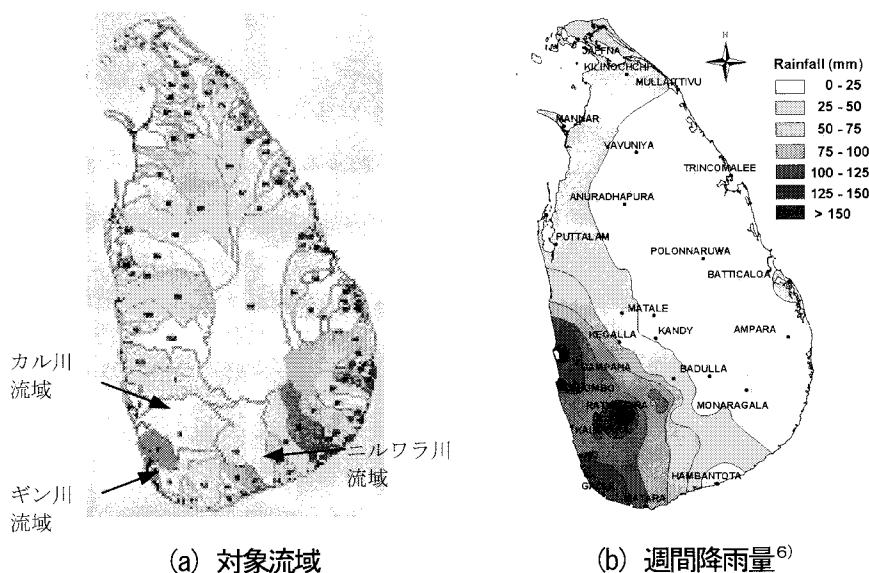


図-6 調査対象3流域と災害時の週間降雨量⁴⁾

特に、カル川流域のラトナプラにおいては、5月1日から災害前日の5月15日までに、**図-7**に示すとおり、600mmを超える降雨を観測した。これによって、災害発生地域の土壤水分はすでに飽和していたと考えられる。その後の、5月16日には、ラトナプラにおいて156mm、引き続き5月17日には146.5mmの激しい降雨を観測した。特に、5月17日3時～21時までの18時間の一継続降雨で366.1mmを観測しており、その中の14時～15時の間には、99.8mmの時間雨量を観測している。すなわち、土壤水分飽和後の集中豪雨が、土石流など災害の要因となる事象発生の直接の原因になったと考えられる。

3.3 カル川流域における災害

3.3.1 洪水災害

カル川はスリランカ中部に位置する流域面積2,690km²、幹川流路延長約100kmの河川である。スリランカ政府(灌漑局)の資料によれば、平均年間降雨量が4,000mmで年間総流出量が73億m³で、その降雨量はわが国の年間平均降雨量の約2倍である。カル川の流域は**図-8**に示すように上流の盆地状地域(ラトナプラ地区)と下流の低平地地帯(カルタラ地区)の2つに分けられる。源流の山岳地帯から河口までの標高差は約2,250mであるが、上流端から始めの36kmで、標高2,250mから14mにまで急激に落下していることから、その流路の大半は勾配が1/5,000程度の緩勾配河川である。さらに、流域の特徴としては下流低平部と上流盆地の境界地点が流路幅約50mの狭窄部となっており、これが上流盆地内での洪水氾濫を助長する一因になっている。

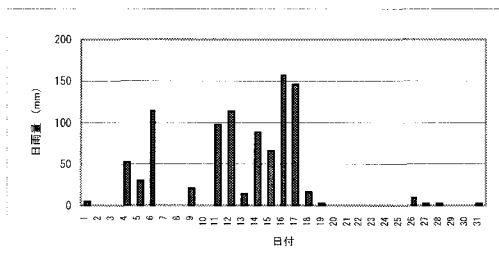


図-7 2003年5月のラトナプラ観測所日雨量⁴⁾

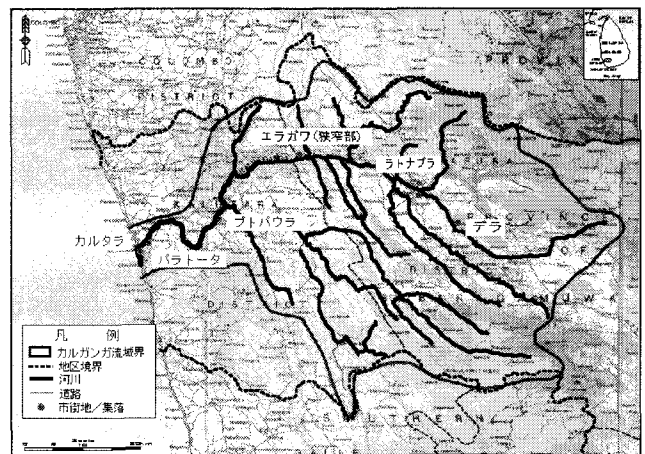


図-8 カル川流域図⁴⁾

上流の盆地地帯の中心都市であるラトナプラ市は四方の山地からの河川が集中する地点に位置し、河川勾配もここで急に緩やかになるため洪水被害が発生しやすい。2003年5月の洪水水位は最大で23.9mMSLに達しており、これは観測史上第4位の記録である。市街地での冠水深は3mを超えており、大部分の家屋の1階は水没した。ラトナプラでの最大流量は約1,300m³/secと推定され、これは50年確率洪水程度とのことである。

今回の洪水災害の原因は3点に集約されており、それは①極端な緩勾配(約1/5000)、②前節に詳述したあまりにも大量の雨、③エラガワ地点の狭窄部による堰上げということである。カル川のラトナプラ市内からやや上流部集落の住民の話によれば洪水はこの建物の屋根近くまで来たそうである。また、住宅の内部も見せてもらったが、今でも腰以上の高さにはっきりとした痕跡が残っていた。住民等の話を総合すると、ラトナプラ市内も近郊の村でも洪水氾濫は激流が襲ったというよりは徐々に浸水し、避難時間も十分にあったようである。これはやはり洪水の原因は狭窄部による堰上げの影響が徐々に上流に及んだことによるものと考えられる。

下流のカルタラ周辺の低平部でも至る所に水位痕跡が残されていた。この周辺の氾濫も上流同様にゆっくりとした氾濫で死者・行方不明者はいないとのことである。日本の急流河川の外水氾濫状況に比べるとさほど深刻さは感じられなかった。

3.3.2 土砂災害

ラトナムプラ州においては多くの箇所では崩壊が発生し、これにより 122 名もの人命が失われた。図-9(a), (b)は、このうちもっとも多く崩壊箇所を数え、8名の死者を数えたハプゴダにおける最も大きな崩壊地の状況を示したものである。図-9(a)は崩壊直後、図-9(b)は2004年4月における調査時点の崩壊地の様子を示したものである。ここで8名が生き埋めになった。崩壊や土石流の発生プロセスについてはこれらの写真だけではわからないが、結果的には頂上付近に崩壊地が見られ、崩壊土砂が二手に分かれて流下した様子が見られる。このうち、写真右側の土砂移動の痕跡にそって溪谷が形成されており、左側の土砂移動の痕跡は、小さな尾根を越えた土砂移動によるものである。

図-9(b)の1年後の状況を見ると、崩壊土砂はほとんど流送され、河道にほとんど土砂が残っておらず、河床が粒径の大きな石礫で覆われている。また、崩壊土砂の移動経路に沿って失われた植生は、一年後には十分回復している様子も伺える。

山腹中腹部には民家が見られる。この周辺は山腹が茶畑として開発され、農作業への利便性のため危険な山腹に家を立てて生活している。このような森林の伐採と居移住地の森林への進入が土砂災害を拡大させた要因の一つであると考えられる。現地での聞き取り調査によると、行政側は住居を移すことを住民に勧告しているが、ほとんどそれに応じないとのことである。

このハプゴダにおける崩壊はデルゴダ川をせき止め、一時的に天然ダムが形成されたと推測されている。この天然ダムの形成と破壊は下流で橋の流失を引き起こしたとされているが、氾濫による大きな人的被害があったという報告はなされていない。

3.3.3 土砂災害対策

スリランカでは、持続可能な、長期、短期地すべり災害の管理および居住計画、居住地域の選択における規準、手引きのために、地すべりのハザードマップの作成が進められていた。ラトナムプラでは今回の災害の前にハザードマップが完成していた。しかし、このマップは有効には使われなかったようであり、この点を踏まえた災害対策が模索されている。

土砂災害直後の対策として、住宅移転、土地収用、復旧作業、崩壊地の監視などが行われた。これからの対策としては、まず、地すべりハザードマッププロジェクトが挙げられる。ハザードマップは50000分



(a) 崩壊直後



(b) 2004年4月

図-9 ハプゴダにおける崩壊⁴⁾

の1および10000分の1の地図に対して作られている。このハザードマップは、土地利用、地形、傾斜、土壌、地質、水文学的情報などを考慮して、四段階の危険度で作成されている。

その他の今後の対策として、地方政府等による建築許可プロセスの強化が挙げられている。すなわち、都市開発計画を策定する際に災害ポテンシャルデータを組み入れること、地すべり危険地域での建設のガイドラインを提供すること、保険や特別税などによる開発行為の制御、建築法規の遵守などである。また、災害情報の普及を通じて自覚の形成を促進し、雨季における観測に関するコミュニティベースのボランティア機構の形成、防災設備の装備、早期の警報体制、危険地域における建設の回避、危険地域への移住の回避などを推し進めようと考えている。

3.4 ギン川流域における災害

3.4.1 洪水概要

ギン川はスリランカ南部のゴール県を流れる河川であり、その流域面積は947km²、河道長は112kmである(図-10 参照)。2003年5月17日の早朝までにギン川の上流部を中心に豪雨が発生した。河口から20km上流に位置するギン川上流のネルワで洪水氾濫が発生し、氾濫水は下流の堤内地を3~4日かけて流下した。堤内地で溢れた水は水門を開放しても堤外に吐けなかった模様である。洪水氾濫時、場所によっては氾濫水の流れも速く、浸水深も2mを越すなどし、また避難所への経路も浸水したため、一部の地域では避難は困難をきわめた。この水害で17名が亡くなり、またインフラ施設や農作物に甚大な被害が生じた。

2003年5月17日の早朝の段階で、シンハラジャの森林地帯は350mmを超える豪雨に襲われた。その頃は河川の水位は平常時と変わらなかったが、昼頃までに水位は急激に上昇した。そして、夜までにネルワ地区は浸水し、ギン川の水位は今までにないほどに上昇した。ネルワの低地では洪水氾濫が発生し、村人達は洪水の猛威にさらされた。同日夜、タワラマ地区でも同様の状況となり、交通は完全に遮断された。5月18日の早朝、ナゴダおよびニヤガマ地域も洪水の影響を受ける状況となり、同日の夜までには、バデガマ、エルピチャ、ヒカルバ、ゴール地域が洪水被害を受けた。

ギントナのギン川河口では、今回の洪水流量を流下させる十分な能力がなく、河川水位がせき上がった。ゴール郊外に位置する、ゴールとコロンボを結ぶ国道の橋脚地点では、橋の床板の0.6m下まで水位が上昇した。このような状況に鑑みてゴール県では、橋脚付近に溜まってできた砂州を一部開削することにより、ゴール市内の洪水氾濫を何とか回避した。

5月19日の昼には、河川水位は上流域では徐々に低下し、県や市町村は被害査定や被災者の救援を開始した。

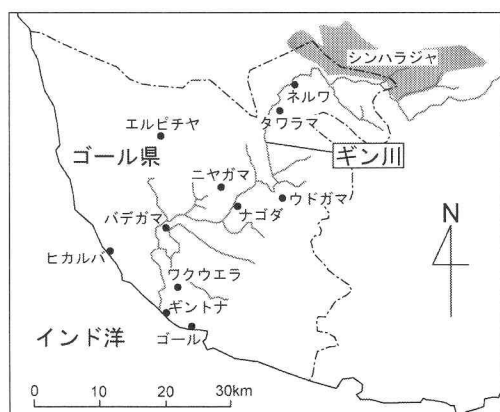


図-10 ギン川流域図⁴⁾



図-11 内水氾濫対策用のポンプ場⁴⁾

3.4.2 被災概要

17 名が今回の水害で死亡したが、そのうち地すべりでの死者は 6 名。残りは洪水による死亡者である。他の県と比較して、洪水による死亡者が多いのが特徴的である。被災世帯は約 32,000 戸、被害が最もひどかったのは、ネルワ、タワラマ、ナゴダ、ニヤガマ、バデガマ、そしてゴールである。

洪水氾濫時、場所によっては氾濫水の流れも速く、浸水深も 2m を越すなどし、また避難所への経路も浸水したため、一部の地域では避難は困難をきわめた模様である。避難所は学校や公共の施設である。洪水の状況を、住民はラジオや TV のメディアを通して把握していた。県が避難情報を出し、各村に伝達した。村の集落ごとに情報が伝えられた。避難行動に関して言えば、一部遅れた住民もいたが避難は比較的首尾よく行われた模様である。避難・救援活動は軍隊（海軍）が精力的にその役割を担った。避難・救助のための船は漁業関係者の提供を受けた。

ギン川の治水整備に関しては、河口から 12km 付近までの下流区間しか堤防が整備されていない。ギン川の下流部は低平地で雨期の雨が多いため、堤内地の内水排除に力点が置かれている模様である。雨期にはギン川の水位が上がるため、支川の水はギン川本川に自然流下できないためポンプ排水している（図-11）。洪水対策は中国の援助により、1975 年に開始された。10 年確率降雨を対象とした 5,000ha の水田の洪水防御、10 箇所のポンプ場の整備が実施された模様である。下流付近に川幅 30m 程の分水路があったが、その水理設計も中国が行った模様である。

ギン川の流域全体での水防災の計画はない。まとまった雨が降れば、今回のような外水氾濫は再び発生する可能性は高い。また、内水氾濫もその対策は十分とは言いがたい。

氾濫の規模、人命を失う可能性の大きさから外水氾濫対策がきわめて重要である。堤防の延長などは経費も時間もかかるので、まずは予警報システムの整備や情報伝達も含めた避難システムの整備、水害の危険性を認知させる防災教育の普及から始めるべきであろう。

今回の水害では、洪水氾濫の規模のわりに避難は円滑に行われた模様であるが、TV やラジオといったマスメディア以外の災害情報伝達は、地先では拡声器を含むロコミによる方法が中心であったと思われる。点在する集落の住民に迅速に正しい情報を伝え、住民を早期に安全に避難させることが重要課題であり、県や市町村から各集落への情報連絡網の整備、集落コミュニティ内での迅速な情報伝達と避難行動体制の準備・強化を図る必要がある。また浸水実績図などは災害後直ちに作成して、記録として整理するとともに、防災教育の教材として有効活用することが望ましい。

さらに洪水氾濫時の救助・救援システム、氾濫終了後の復旧システムの整備も重要な問題である。流域の広い範囲で洪水氾濫が生じた際に、被害状況をいかに迅速かつ適確に把握するか、道路が寸断されて孤立した集落の住民をいかに救助するか、また食料や救援物資をいかに集配するか、避難所で長期間の避難所生活を余儀なくされる被災住民をいかに支援するかなどが今回の水害で再認識された課題である。救助・救援に関しては、役所（県、市町村）と警察、軍隊の連携が、復旧に関しては役所と住民、そしてボランティアの連携が重要であると考えられる。これらのことは、2004 年 7 月のわが国の新潟や福井における豪雨災害とも関連するところがある。

3.5 ニルワラ川流域における災害

3.5.1 洪水概要

ニルワラ川はスリランカ南部地方のマータラ県に位置し、北緯 $6^{\circ} 13'$ から $5^{\circ} 55'$ と東経 $80^{\circ} 25'$ から $80^{\circ} 38'$ に位置する（図-12）。源流は中央山岳域の標高 1,050m ダニヤヤとラウワナにある。流路長は 70km であり、県都のマータラ市でインド洋に注ぐ。流域面積は 1,070km² で、源流部分の山岳域は森林域であり、赤黄ポドゾルで覆われている。中腹域はゴムやお茶、スパイスの植林域で、平野のほとんどは

水田となっている。山岳域の河床は急勾配で岩盤であり、下流域において勾配は小さくなる。

ニルワラ川上流のボパゴダの水位を図-13に示す。5月17日から18日にかけて水位が急上昇し、最大35ft(10.7m)を越えている。洪水期間の水位自動記録は観測範囲を超えていたため、痕跡による記録が図に記されている。最大水位の記録はおおよそ5月18日の午前4時半に生じたと推定されている。この上流に位置するピタベッダラの場合は流量換算されており、18日の日流量2,900m³/sを記録している。

ここから約30km下流のタルガハンゴダ排水機場では最大水位が18日の午前3時に記録されている。

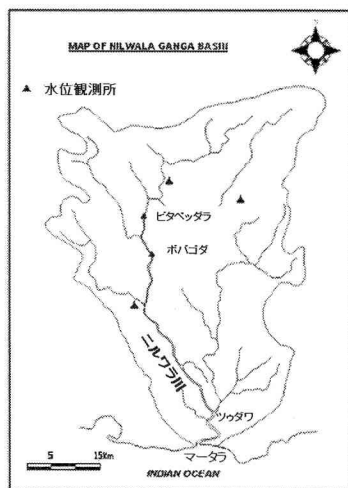


図-12 ニルワラ川流域図⁴⁾

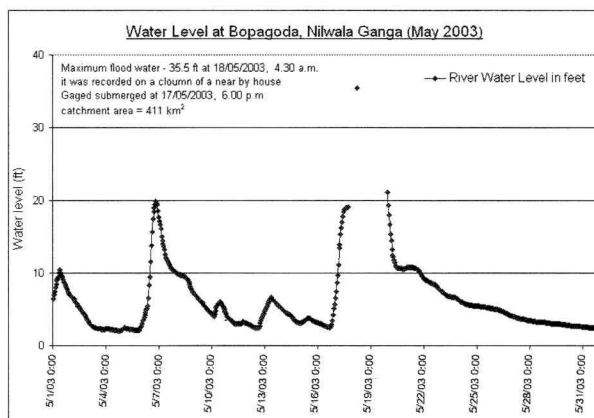


図-13 ニルワラ川上流のボパゴダの水位⁴⁾

上流の洪水ピーク時刻が下流より遅い理由として、18日未明に下流の堤防が切断されたため、氾濫水が堤内に浸水し、本来の下流の洪水ピークが減少したからと考えられる。この推測は、切断されたと報告された時間（午前4時頃）から見て正しいものと思われる。図-14からわかるように更に下流のツウダワでは18日から19日にかけて堤内の水位が上昇し、19日になると堤内水位が堤外水位より高くなっている。本来堤防で守られている地域は標高の低い地域であるため、氾濫水が集中しやすい。また、排水機は洪水ピーク時に動かなくなっていたこともその原因である。降雨が継続していることもあるが、流域規模の割には下流において長時間にわたって高い水位が続いた。最終的に人々はこれらの氾濫水が水路を通じて自然流下によって排水されるのを待つことになった。以上の氾濫状況は主に右岸のことである。左岸では、堤防が切られることがなかったため、このようなことはなかった。ポンプによって順調に排水された。灌漑局の職員は、左岸では住居が堤防近くまで迫っており、堤防を切った場合の被害が容易に想像できるからと説明した。つまり右岸の堤防掘削地点の堤内地は、水田域が広がり住居がなく、一見遊水地に見えるため住民に堤防を切ることへの罪悪感がなかったからだと説明した。

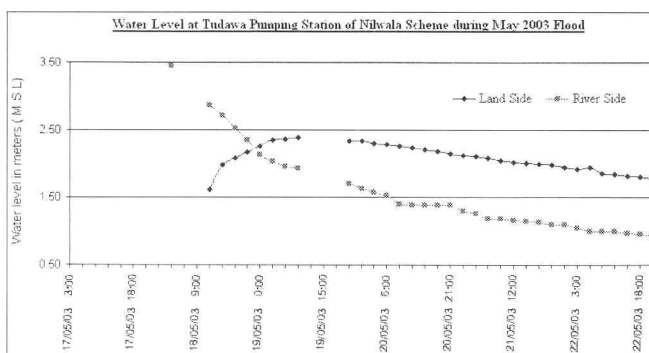


図-14 ツウダワ排水機場の水位⁴⁾



図-15 ラウドスピーカーによる災害情報伝達⁴⁾

3.5.2 被災概要

ニルワラ川は過去 30 年間にわたって洪水氾濫が生じたことはなかった。そのため、住民のほとんどは洪水に対する経験をもたないため、その被害が拡大した。11 日から始まった降雨のため、テレビやラジオ、新聞から地すべり、洪水の危険性については報じられていた。住民もこれらの情報については認識していた。しかし、下流における 18 日の氾濫拡大についてはラウドスピーカーによる連絡があるまで住民は何も情報を持たない状況であった。灌漑省マータラ事務所は 17 日から対応を協議していたが、本格的に情報伝達を始めたのは氾濫が拡大してからである。ラウドスピーカーによる連絡は、スリーウェラーや車による緊急措置的なもので、常設の防災スピーカーがあったわけではない(図-15)。これらのスピーカーは大きい集落の電気屋に設置しており、住民への連絡が必要な場合に NGO の協力を得て、連絡される。しかし、氾濫拡大が時間的に先行したため、伝達が出来ない孤立した地域を生むことになった。地元住民の話によると、理由もわからず水位が上昇し、恐怖を感じたと言う。また、生活弱者を家族や近所の者がおぶって逃げたケースが数多くあった。しかし、避難する場所が指示されていたわけではなく、とりあえず近所の高台に避難している。孤立した集落は、18 日から 19 日にかけて軍隊やマータラの漁師による船によって救出された。18 日にマータラ事務所から軍隊と警察に救助依頼があり、軍隊は孤立した住民の救助と救援物資の運搬を、警察は避難誘導や交通誘導を行った。また、国際機関や NGO は 19 日以降、コロンボから救援物資、薬や食糧を持ち込んだ。一部、医療活動も行っている。18 日、19 日にはヘリコプターによる救援物資の輸送も行われている。氾濫地帯の幾つかの集落では、食糧の備蓄が行われていた。これは災害用ではなく、地元住民が年間の食糧として確保している分である。これらの食糧が被災民に配給された。また、一部の集落には漁のために小船が用意されており、救助するのに役立った。

4. 2003 年 8 月北海道胆振・日高地方豪雨災害^{7), 8)}

4.1 豪雨・流出特性

平成 15 年 8 月にフィリピン沖に発生した台風 10 号は北海道日高地方に多くの豪雨をもたらし、特に沙流川、厚別川流域に大きな被害をもたらした。図-16 の二つの流域概要を示す。図-17 は総雨量（平成 15 年 8 月 8 日～10 日の 54 時間）のコンターを示したものであり、特に被害の大きかった日高地方では 300mm を超える降雨を観測している。北海道南部で 100mm を超えている。

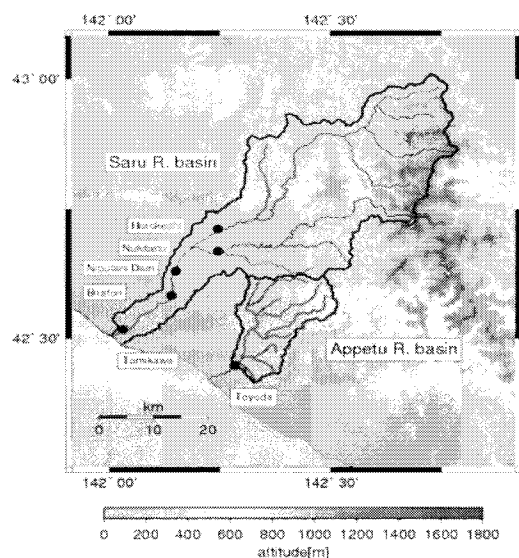


図-16 沙流川・厚別川の流域概要⁷⁾

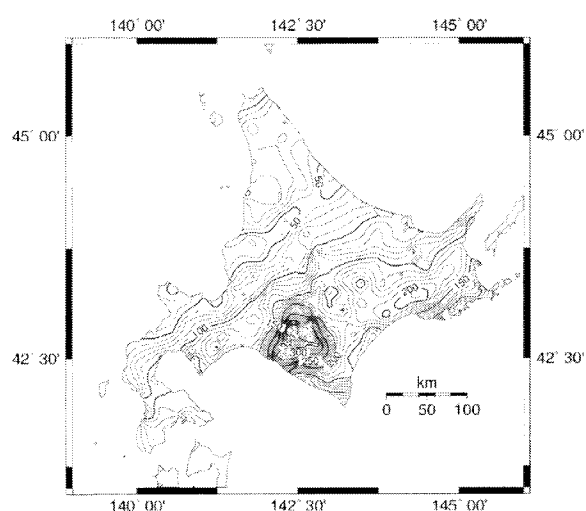


図-17 総雨量のコンター（平成15年8月8日～10日）⁷⁾

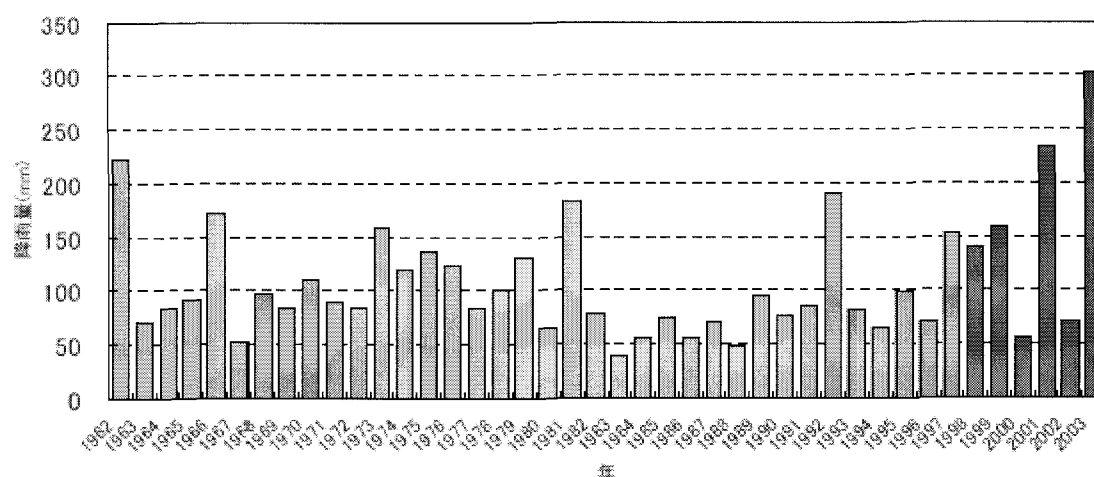


図-18 沙流川・平取地区の年最大48時間降雨⁷⁾

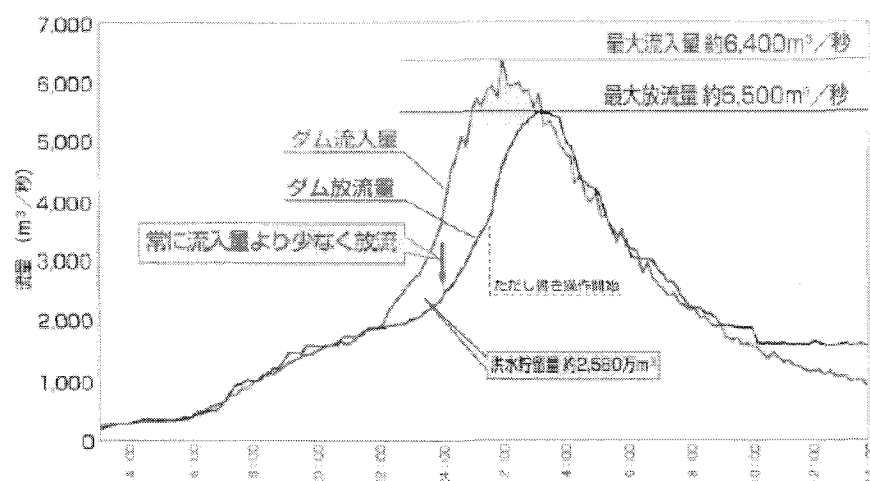


図-19 ダムによる洪水調節効果⁷⁾

図-18 は大きな被害の出た沙流川流域の48時間降雨の変遷であり、約40年に及ぶ観測期間の中で最大値を示していることが分かる。また、最大時間雨量の空間分布から見ると、雨域の進行方向にあたる日高山脈南西斜面に帯状に強雨域が見られ、地形の影響を大きく受けた降雨パターンであることが確認されている。

年最大48時間雨量に関する確率評価によれば、本事例を含めた場合、今回の降雨は再現期間60年から70年、本事例を含めないサンプルによる評価では再現期間が210年から320年となっており、後者の評価では100年を越える規模である。

4.2 被災の特徴と課題

沙流川流域と厚別川流域での洪水流は対照的であった。沙流川には二風谷ダム、平取ダムなどの洪水調節施設があり、これにより洪水ピークがカットされた。二風谷ダムでは最大で $6,400\text{m}^3/\text{s}$ の流入があり、このうちピーク流量が $900\text{m}^3/\text{s}$ カットされ、下流には $5,500\text{m}^3/\text{s}$ の流量が流下した(図-19)。ダム下流ではほぼ全区間にわたり計画高水位を越えていた。破堤には到らなかったものの、漏水痕跡も見られ、危険な状態にあったことが確認されている。

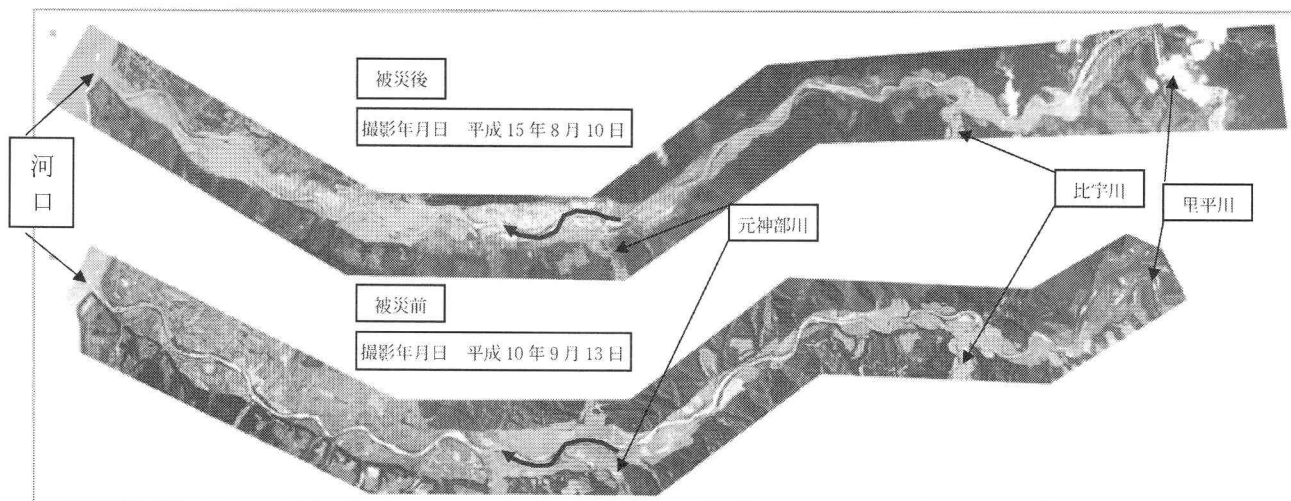


図-20 厚別川における氾濫状況⁷⁾

一方、厚別川の洪水流量は、赤無橋地点で $2,000 \text{ m}^3/\text{s}$ 以上と推定されており、現況河道の流下能力($1,000 \text{ m}^3/\text{s}$ 程度)を大きく越えていた。このため、越水や破堤により氾濫した流水は堤内地をあたかも河道のように流れた(図-20)。

今回の豪雨災害の大きな特徴の一つは、流域から多量の流木が発生した点である^{9), 10)}。このため、広範な流木調査が実施された。図-21には二風谷ダムにおける流木の捕捉状況を示している。上述の様に、同ダムは洪水時に流量調節の効果を発揮した(図-19 参照)が、流木の捕捉により下流での減災にも貢献したと評価されている。

厚別川を対称として実施された河畔林の効果に関する結果を図-22に示す。図は、各区分において洪水により河畔林から流出した樹木体積と、河畔林は捕捉した量を比較したものである。ほとんどの区分において捕捉量は流出量を上回っていることが分かる。厚別川流域全体では、流出量 $7,800 \text{ m}^3$ に対して、捕捉量は $11,100 \text{ m}^3$ と見積もられている。このように、河畔林の効果としては、生態系の保護や中小洪水に対する河岸保護の他に、流木捕捉の効果を挙げることが出来る。



図-21 二風谷ダムにおける流木捕捉状況⁷⁾

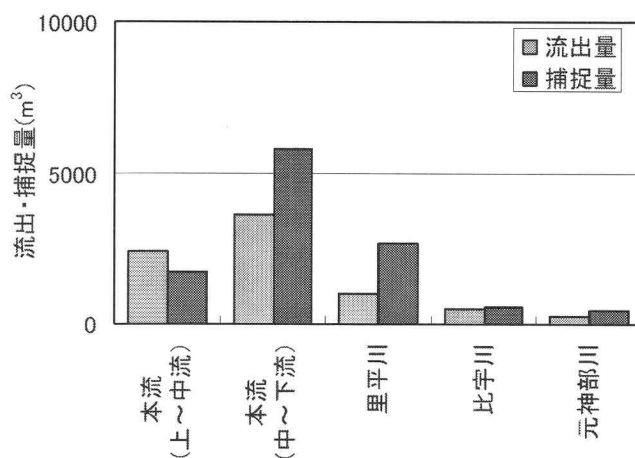


図-22 河畔林の流出量と堆積量⁷⁾



図-23 愛媛県東予地方の流木災害(その1)¹²⁾

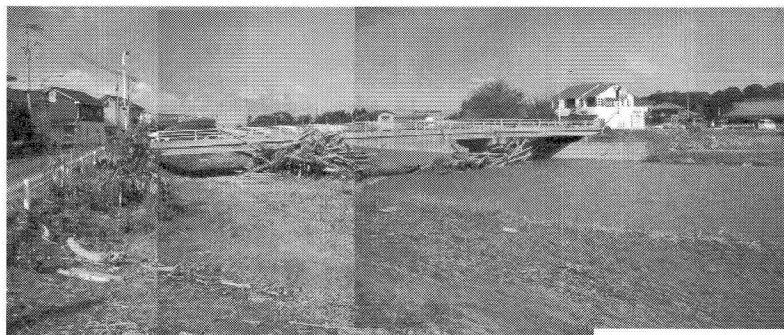


図-24 愛媛県東予地方の流木災害(その2)¹²⁾

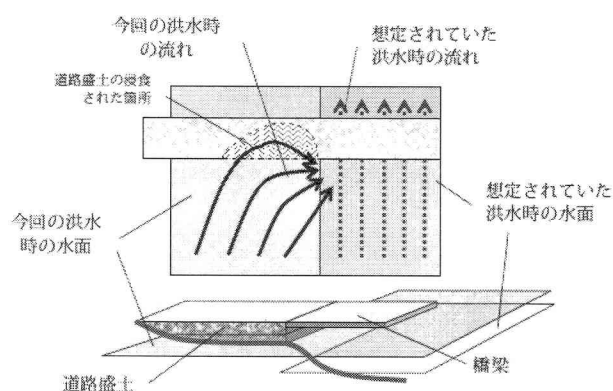


図-25 橋梁盛土の侵食機構⁷⁾



図-26 橋梁の被災状況(その1)⁷⁾



図-27 橋梁の被災状況(その2)⁷⁾



図-28 橋梁の被災状況(その3)⁷⁾

一方、河川を流下した流木が橋梁被害をもたらしていることが判明している。一つには橋梁に引っかかった流木が水位をせき上げた。同様な流木災害は2004年台風21号による豪雨災害の際の三重県¹¹⁾、愛媛県東予地方の2004年台風21号による豪雨災害¹²⁾においても見られている。愛媛県東予地方に被災の様子を図-23、図-24に示す。北海道豪雨の際には、図-25に見られるように道路盛土の流失が見られた。その例を図-26、図-27、図-28に示す。このような災害の発生は道路を利用する交通にとってきわめて危

険であり、道路情報配信方法の整備などを含め、今後の防災上の大きな課題である。

直接的な外力は異なるものの、同様な橋梁の被災事例がインド洋大津波時にスリランカ南西部において多く観察された¹³⁾。その事例を図-29、図-30に示す。調査は津波発生後4ヶ月の時点で行われたため、すでに橋梁取り付け部が修復され、法面は蛇籠により補強されている。調査地点付近では津波の波高が4.5mにも達した。これにより、寄せ波時の津波は海に面した微高地を越え、後背低地に進入した。引き波時にはその微高地を再び越えることは出来ず、後背地から海に注ぐ小河川に沿って海側に流れ出たと想像され(図-31)、この際に橋梁の取り付け道路の浸食がもたらされたと考えられる。実際、取り付け道路海側の法面の被災が多く見られ、上記の様な過程での被災を示唆するものであった。



図-29 スリランカ津波による橋梁被災(その1) 図-30 スリランカ津波による橋梁被災(その2)

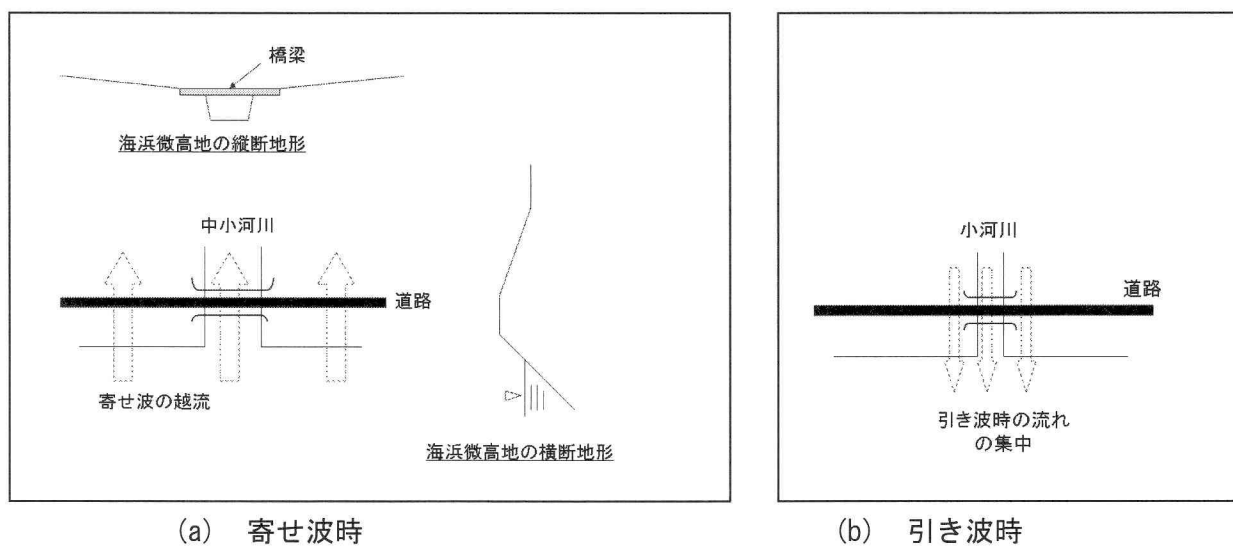


図-31 スリランカ津波による橋梁被災のメカニズム

5. 2004年7月北陸豪雨災害^{14), 15), 16)}

5.1 豪雨・流出特性

新潟県内では7月13日の豪雨により、南北約20km、東西約100kmの範囲で総雨量が250mmにも達し

た(図-32, 図-33)。特に栃尾では7月13日の総雨量が421mmにも達した(図-34)。これにより、11カ所の破堤、床上・床下浸水など大きな被害が生じた。図-34に見られるように、一時間のピーク雨量としては記録的なものではないが、強い雨が継続した点にこの豪雨の特徴がある。6時間降雨、12時間降雨および24時間降雨に対する確率評価を行った結果によれば、それぞれ500年、763年、530年となり、100年を超えている。この降雨規模は計画のそれを超えており、このため流域内の多くの地点で破堤が生じた。

この豪雨からほとんど日をおかず、7月18日には福井県において同様な豪雨被害が発生した。その際の降雨量の例を図-35に示す。図-34と同様に午前の数時間にわたり集中した降雨が認められる。この

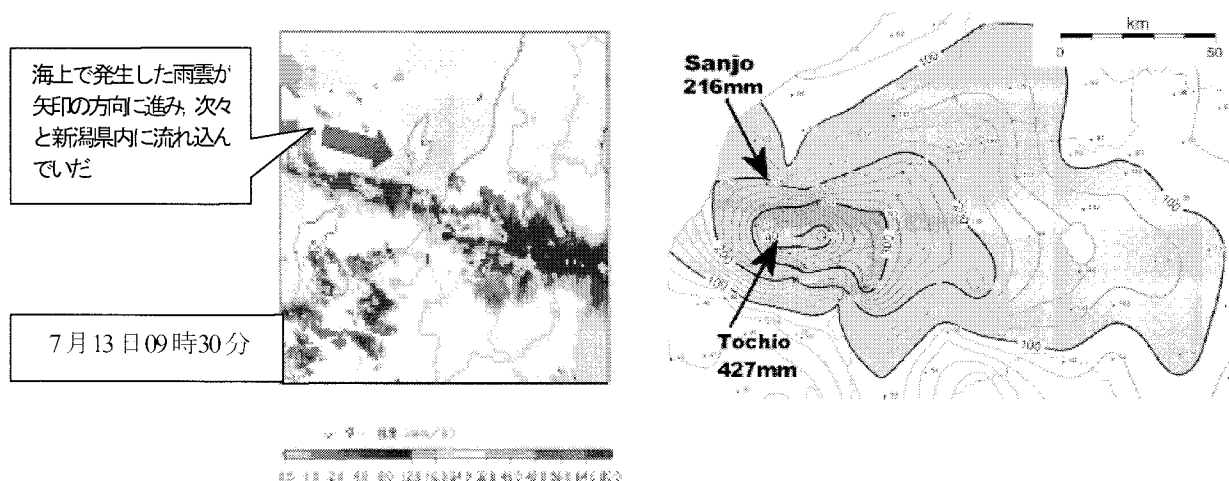


図-32 レーダー雨量計(7月13日9:30)¹⁴⁾ 図-33 7月13日24日の48時間降雨量分布¹⁴⁾

栃尾雨量<気象庁資料>

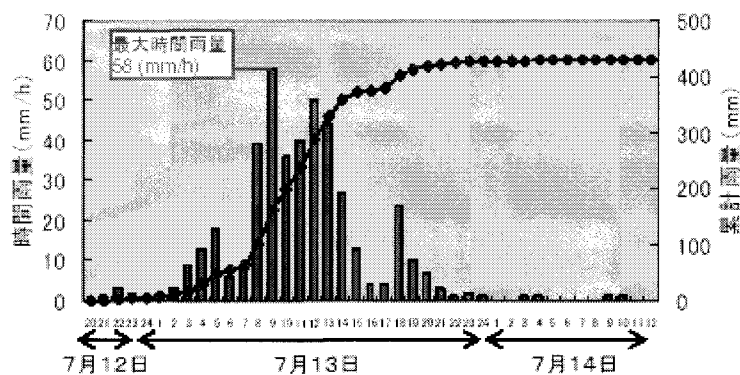


図-34 雨量変化(栃尾)¹⁴⁾

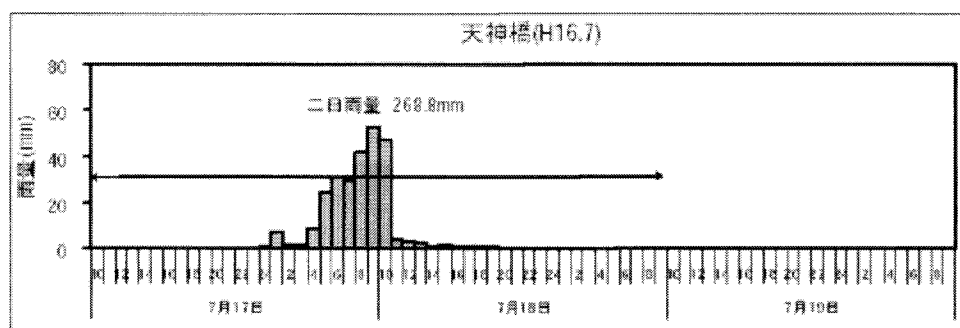


図-35 雨量変化(足羽川天神橋上流域)¹⁴⁾

降雨に関しても、6時間雨量で見ると100年確率を超える規模であった。

5.2 被災の特徴・課題

上記の通り、この豪雨災害における大きな特徴の一つは破堤箇所が多く、浸水戸数が多かったことである。その事例として、**図－36** 五十嵐川・諏訪新田地区、**図－37** 刈谷田川・中之島地区、**図－38** 足羽川破堤状況・春日地区を示した。



図－36 五十嵐川破堤状況（諏訪新田地区）¹⁴⁾ **図－37** 刈谷田川破堤状況（中之島地区）¹⁴⁾



⑦集中豪雨で決壊した足羽川堤防＝18日午後1時20分、
福井市春日1丁目で、中日新聞社ヘリ「わかづる」から。（中日新聞社 提供）

図－38 足羽川破堤状況（春日地区）¹⁴⁾

新潟県が設置した『7.13 新潟豪雨洪水災害調査委員会』の資料によれば五十嵐川諏訪新田地区、刈谷田川中之島地区では河川水位が堤防天端高さを超え、越流が生じたと判断されている¹⁷⁾。また、足羽川春日地区も越流が認められている¹⁵⁾。さまざまな検討を行った結果、破堤の主要因は越流に有ると考えられている。

足羽川では、大瀬橋から木田橋までの約4km区間に12本の橋梁が架設されている。そこで、数値シミュレーションを用いて、橋脚の有無による水位せき上げの影響に関する検討が行われている。数値計算には一般曲線座標系を用いた数値手法を採用し、実測洪水水位の再現計算を行った後に、橋脚による水位せき上げに関する検討が行われた。**図－39** は橋脚が有る場合と無い場合の水位差を示している。これによ

ると、橋脚によるせき上げ量が最大になる地点は木田橋の直上流であり、おおよそ 40cm のせき上げとなっている。このせき上げ量は最大洪水流量の 1 割以上に相当することが確認されている。

図-40 は蛇行による左右岸の水位差を示している。破堤が生じた 4.6km 地点左岸では、右岸に比べて 0.40m 水位が高いとの結果を示している。従って、河道中心に比べ破堤地点では約 0.2m の水面上昇があったことになり、前述の橋脚によるせき上げと合わせれば、合計で約 0.55m ほどの水位上昇があったことになる。

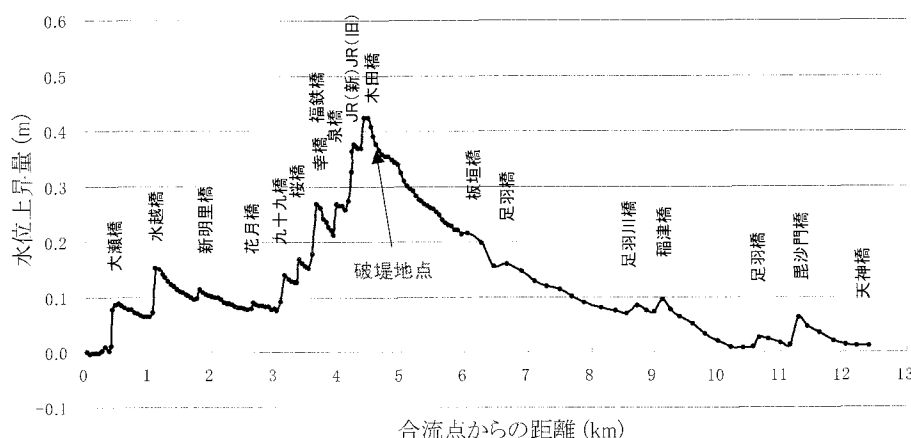


図-39 橋脚によるせき上げ水位量¹⁴⁾

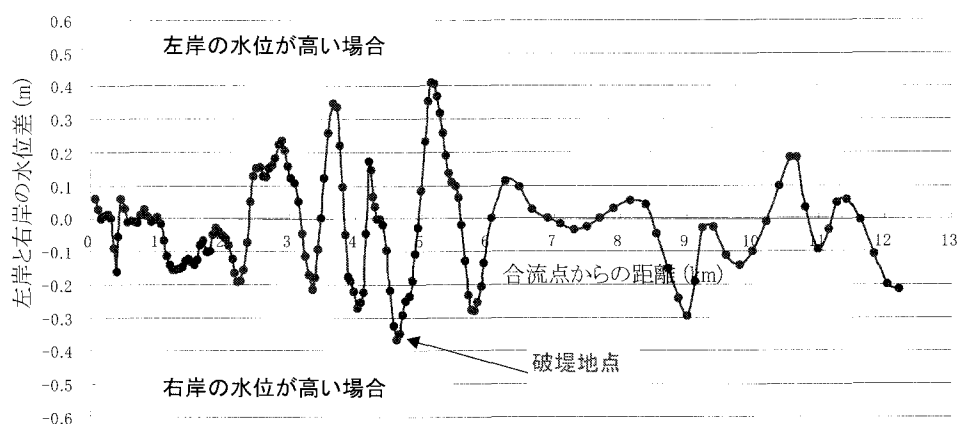


図-40 蛇行による左右岸の水位差¹⁴⁾

橋梁に関連する被害としては、福井県内 JR 越美北線での 5 本の鉄道橋流失が挙げられる (図-41, 図-42)。図-42 に示すような橋脚の倒壊のほか、橋脚の折損、図-41 の足羽川第一鉄橋では桁の流失も発生した。石野ら¹⁸⁾ は、橋脚・桁に作用した流体力により岩盤からの橋脚の剥がれ・折損破壊を説明できると結論づけている。なお、この流体力の推定には流木の効果を加味していないが、倒壊時には流木の衝撃力が加わっていた可能性もある。

北陸豪雨災害時に指摘された上記以外の課題としては、①県管理区間の河川において整備水準が低く、洪水の流下能力が不足していること、②死亡者の 60% が 70 歳以上であり、高齢者が災害弱者となったこと、③ハザードマップの整備が進んでいない点、④町役場・避難所などの防災拠点が浸水し、その機能を発揮できない例があったなどである。

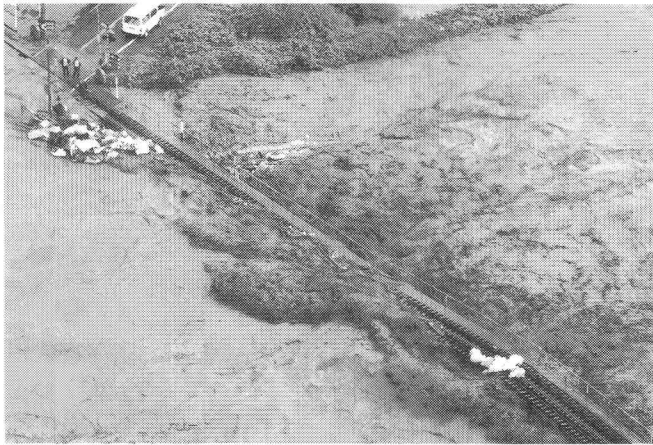


図-41 足羽川第一鉄橋の被災¹⁴⁾



図-42 足羽川第一鉄橋の倒壊状況¹⁴⁾

6. おわりに

本稿で使用したデータ・図面は、それぞれの豪雨災害調査団メンバーの献身的な調査・研究に基づくものである。また、現地調査にあたっては様々な関係機関から便宜を図って頂いた。特に、それぞれの調査にあたって(財)河川環境管理財団の補助を受けている。さらに、愛媛大学工学部・渡邊政広教授には2004年台風21号による愛媛県東予地方災害に関する貴重な調査結果資料の提供を快諾頂いた。ここに記して関係各位に謝意を表する。なお、水工学委員会ではその後、2005年5月19日に土木学会災害緊急調査団報告会を開催し、「総括：2004年豪雨災害のキイポイントと克服すべき課題」¹⁹⁾を取りまとめていることを付記する。

参考文献

- 1) 水工学委員会 (2004): 内外4豪雨災害に関するフォーラム—資料—, 24pp.
- 2) 2002年ヨーロッパ水害調査団(2003): 2002年ヨーロッパ水害調査報告書, 112pp.
- 3) Year 2002 European Flood Investigation Team of JSCE (2003): Summary report of year 2002 flood disaster in Europe, Journal of Hydrosience and Hydraulic Engineering, Vol.21, No.2, pp.1-10.
- 4) 水工学委員会 (2004): 2003年スリランカ水害調査報告書, 76pp.
- 5) 小松利光・田中 仁・戸田圭一・清水康行・藤田正治・石野和男・風間 聡・牛山素行・勝濱良博・Srikantha Herath・Bandara Nawarathna (2005): 2003年5月スリランカ南西部水害調査, 水工学論文集, 第49巻, pp.433-438.
- 6) Zubair, L.: The weather leading to the recent floods and landslides in Sri Lanka, <http://iri.columbia.edu/~larcef/wcsl/May2003.htm>
- 7) 水工学委員会 (2004): 平成15年台風10号北海道豪雨災害調査団報告書, 181pp.
- 8) 長谷川和義・新谷 融・小川長宏・菊池俊一・黒木幹男・小松利光・嵯峨 浩・清水康行・清水 収・鈴木洋之・鈴木優一・田中 岳・田中 仁・藤間 聡・中津川誠・八田茂実・村上泰啓・山下俊彦・山田 孝・渡邊康玄・渡部靖憲・藤田睦博 (2005): 平成15年台風10号による北海道日高豪雨災害の概要について, 水工学論文集, 第49巻, pp.427-432.
- 9) 鈴木優一・渡邊康玄(2004): 沙流川での台風10号における流木の挙動, 水工学論文集, 第48巻, pp.1633-1638.
- 10) 鈴木優一・渡邊康玄(2004): 出水により発生した流木の影響, 河川技術論文集, 第10巻, pp.107-112.
- 11) 辻本哲郎・井上和也(2004): 台風21～23号による豪雨災害緊急調査(速報), 土木学会誌,

Vol.89, No.12, pp.23-29, 2004

- 12) 渡邊政広・門田章宏・鈴木幸一・西村文武・白石 央・藤森祥文・重本直人・李 大民(2004): 愛媛県東予地方の台風 21 号による流木・洪水はんらん災害について, 2004 年愛媛県下における自然災害学術調査報告書, pp.73-92.
- 13) 水工学委員会・海岸工学委員会 (2005): 2004 年 12 月インド洋大津波スリランカ被害調査報告書. (準備中)
- 14) 土木学会平成 16 年 7 月北陸豪雨災害緊急調査団 (2005): 平成 16 年 7 月北陸豪雨災害調査報告書, 232pp.
- 15) 玉井信行 (2004a): 2004(平成 16)年 7 月北陸豪雨による水害の報告(速報), 土木学会誌, Vol.89, 10 月号, pp.7-10.
- 16) 玉井信行 (2004b): 平成 16 年 7 月北陸豪雨災害について, 土木学会誌, Vol.89, 12 月号, pp.15-16.
- 17) 破堤地点の水位波形の推定: 7.13 新潟豪雨洪水災害調査委員会第 2 回委員会資料, 9 ページ及び 33 ページ, 新潟県河川管理課, 平成 16 年 11 月,
http://www.pref.niigata.jp/dobokubu/sosiki/honcho/kak/kak_r/kak_r_67.html
- 18) 石野和男・榎田真也・玉井信行 (2005): 2004 年福井水害における鉄道橋梁の被災原因の調査解析と今後の長寿命化方策の検討, 河川技術論文集, 第 11 巻, pp.157-162.
- 19) 水工学委員会(2005): <http://www.jsce.or.jp/committee/hydraulic/information/saigai-hokoku-sokatsu-zantei-20050519.doc>